



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 08 905 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:
F 25 J 1/02

②1 Aktenzeichen: 101 08 905.8
②2 Anmeldetag: 23. 2. 2001
④3 Offenlegungstag: 5. 9. 2002

DE 101 08 905 A 1

⑦1 Anmelder:
Linde AG, 65189 Wiesbaden, DE

⑦2 Erfinder:
Grefe, Alf, Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., 82041
Deisenhofen, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 197 17 126 A1
US 60 89 028 A
EP 03 67 156 A2
WO 00 25 061 A1

JP Patent Abstracts of Japan:
59057094 A;
60098300 A;
00146430 A;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches

⑤7 Es wird ein Verfahren zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches beschrieben, wobei

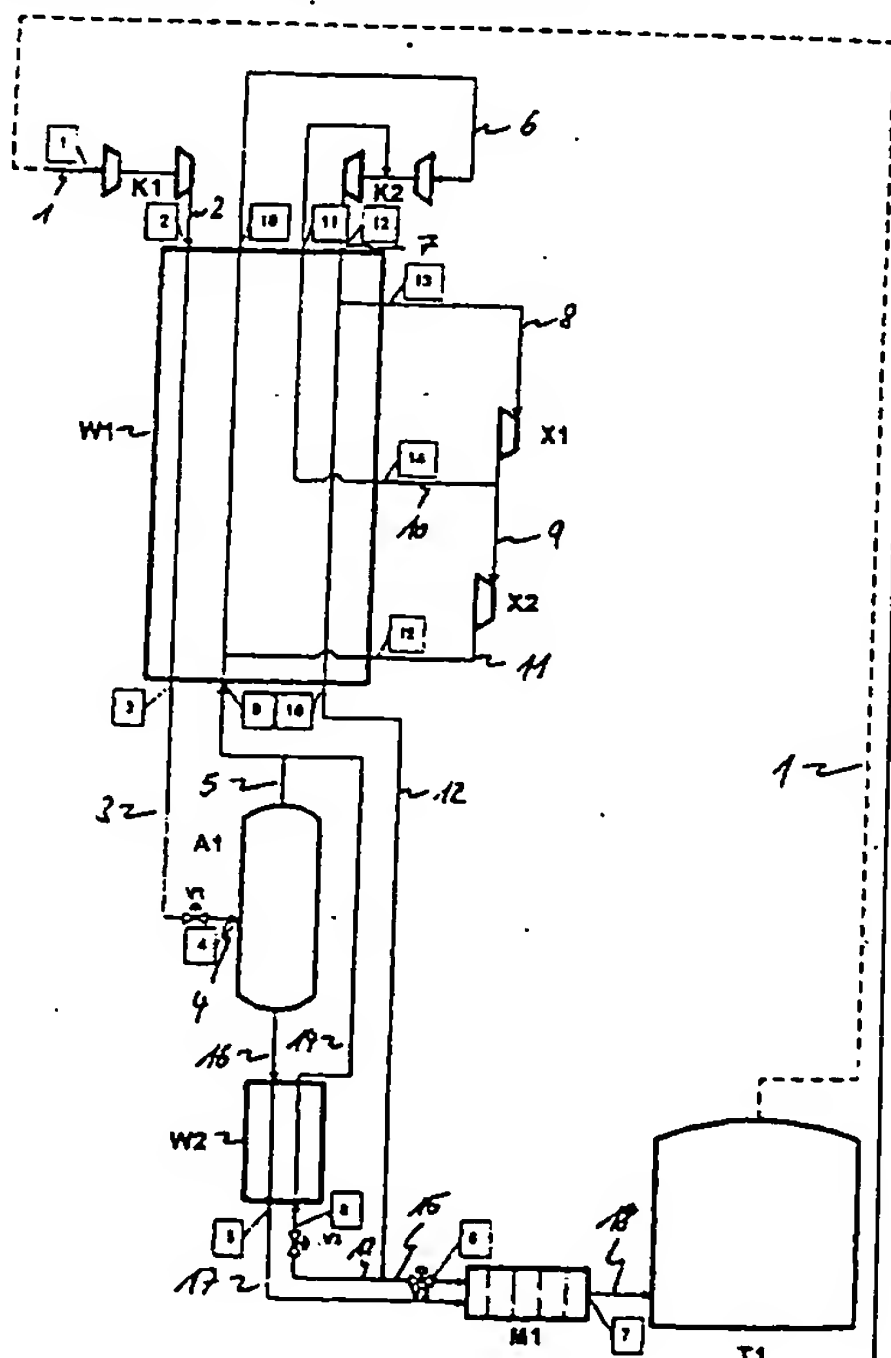
a) das zu verflüssigende Gasgemisch in eine niedriger siedende Fraktion, die eine Siedetemperatur aufweist, die niedriger ist als die Siedetemperatur des zu verflüssigenden Gasgemisches, und in eine höher siedende Fraktion, die, bei jeweils gleichem Druck, eine Siedetemperatur aufweist, die höher ist als die Siedetemperatur des zu verflüssigenden Gasgemisches, aufgetrennt wird,

b) die höher siedende Fraktion zumindest soweit abgekühlt wird, dass sie vorzugsweise bei dem Druck, unter dem am Ende des Verflüssigungsverfahrens das verflüssigte Gasgemisch vorliegt, in vorzugsweise flüssiger Phase vorliegt,

c) die niedriger siedende Fraktion soweit abgekühlt wird, dass sie nach einer Zusammenführung mit der höher siedenden Fraktion in vollständig verflüssigter Phase vorliegt,

d) als Kältemittel für den oder die Kältemittelkreisläufe entweder zumindest ein Teilstrom der niedriger siedenden Fraktion oder, sofern wenigstens zwei Kältemittelkreisläufe vorgesehen werden, zumindest ein Teilstrom der niedriger siedenden Fraktion und zumindest ein Teilstrom des zu verflüssigenden Gasgemisches verwendet werden und

e) die vorzugsweise verflüssigte, höher siedende Fraktion und die vorzugsweise verflüssigte, niedriger siedende Fraktion anschließend zusammengeführt werden und die zusammengeführten Fraktionen verflüssigt vorliegen.



Best Available Copy

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches.

[0002] Es sind eine Vielzahl von Verfahren zur vollständigen Verflüssigung von mehrkomponentigen Gasgemischen bekannt. So kann die Verflüssigung durch die Verwendung von separaten Kältekreislaufmitteln mit einem Siedepunkt, der unter dem Siedebereich des zu verflüssigenden mehrkomponentigen Gasgemisches liegt, erreicht werden. So werden bspw. bei der Verflüssigung von Erdgas in den LNG-Anlagen und bei der Rückverflüssigung des Boil-Off-Gases in Erdgasanlagen ein Kältekreislauf mit Stickstoff als Kältekreislaufmittel eingesetzt.

[0003] Von Nachteil bei diesen Verfahren ist, dass die Verluste des Kältekreislaufmittels fortlaufend ersetzt werden müssen, mit dem sich daraus ergebenden weiteren Nachteil, dass eine gesonderte Lagerhaltung für das oder die Kältekreislaufmittel bzw. eine Überdimensionierung eines Teils der Kältekreislaufapparate für die Bevorratung des oder der Kältekreislaufmittel notwendig ist.

[0004] Bekannt sind darüber hinaus auch Verfahren, bei denen auf die Verwendung von separaten Kältekreislaufmitteln verzichtet wird. Statt dessen wird ein Teilstrom des zu verflüssigenden Gasgemisches als Kältekreislaufmittel verwendet, wodurch eine teilweise Verflüssigung des Gasgemisches ermöglicht wird. Bei diesen Verfahren verbleibt der nichtverflüssigte Teil des mehrkomponentigen Gasgemisches gasförmig und wird anderweitig verbraucht oder er wird, wie dies bspw. bei den sog. Peakshaving-Anlagen der Fall ist, wieder in die (weiterführende) Pipeline zurückgegeben.

[0005] Nachteilig bei dieser Verfahrensweise ist, dass ein Teil des mehrkomponentigen Gasgemisches gasförmig bleibt und deshalb verbraucht oder aber in eine weiterführende Pipeline gegeben werden muss. Oftmals ist jedoch der Verbrauch des nichtverflüssigten Anteiles des mehrkomponentigen Gasgemisches nicht möglich bzw. unwirtschaftlich, oder aber es steht keine Pipeline zur Rückgabe des nichtverflüssigten Gasgemisches zur Verfügung. So ist bspw. der Verbrauch des nichtverflüssigten Gasgemisches bei der Rückverflüssigung des Boil-Off-Gases auf LNG-Tankschiffen unwirtschaftlich, da der Wert des Boil-Off-Gases höher ist, als der des Diesel- bzw. Schweröltreibstoffes.

[0006] Zudem ist der Wirkungsgrad der Dieselmotoren für Diesel bzw. Schweröl erheblich größer als der eines Gas-Dieselmotors oder eines Dampfkessels und einer Dampfturbine bei der Verwendung des Boil-Off-Gases als Heizgas zur Erzeugung von Dampf für die Schiffsantriebsturbine eines LNG-Tankschiffes. Die ausschließliche Verwendung eines Gas-Dieselmotors oder eines Dampfkessels und einer Dampfturbine erfordert außerdem eine zusätzlich Verdampfungsanlage, um das notwendige Heizgas auch dann zur Verfügung stellen zu können, wenn noch kein oder zu wenig Boil-Off-Gas vorhanden ist.

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum vollständigen Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches anzugeben, das die vorgenannten Nachteile vermeidet und darüber hinaus energetische und apparative Vorteile aufweist.

[0008] Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Verfahren zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches vorgeschlagen, bei dem

- a) das zu verflüssigende Gasgemisch in eine niedriger siedende Fraktion, die eine Siedetemperatur aufweist, die niedriger ist als die Siedetemperatur des zu verflüssigenden Gasgemisches, und in eine höher siedende Fraktion, die, bei jeweils gleichem Druck, eine Siedetemperatur aufweist, die höher ist als die Siedetemperatur des zu verflüssigenden Gasgemisches, aufgetrennt wird,
- b) die höher siedende Fraktion zumindest soweit abgekühlt wird, dass sie vorzugsweise bei dem Druck, unter dem am Ende des Verflüssigungsverfahrens das verflüssigte Gasgemisch vorliegt, in vorzugsweise flüssiger Phase vorliegt,
- c) die niedriger siedende Fraktion soweit abgekühlt wird, dass sie nach einer Zusammenführung mit der höher siedenden Fraktion in vollständig verflüssigter Phase vorliegt,
- d) als Kältemittel für den oder die Kältemittelkreisläufe entweder zumindest ein Teilstrom der niedriger siedenden Fraktion oder, sofern wenigstens zwei Kältemittelkreisläufe vorgesehen werden, zumindest ein Teilstrom der niedriger siedenden Fraktion und zumindest ein Teilstrom des zu verflüssigenden Gasgemisches verwendet werden, und
- e) die vorzugsweise verflüssigte, höher siedende Fraktion und die vorzugsweise verflüssigte, niedriger siedende Fraktion anschließend zusammengeführt werden und die zusammengeführten Fraktionen verflüssigt vorliegen.

[0009] Die Auftrennung des zu verflüssigenden Gasgemisches in eine niedriger siedende Fraktion und in eine höher siedende Fraktion kann hierbei mittels eines beliebigen Trenn- bzw. Fraktionierungsverfahrens, bspw. eine Drosselung, ein permutatives oder rektifikatorisches Verfahren, erfolgen.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches sowie weitere Ausgestaltungen desselben, die Gegenstände der abhängigen Patentansprüche darstellen, seien im Folgenden anhand der in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0011] Bei den nachfolgenden Ausführungsbeispielen bzw. Verfahrensbeschreibungen wird jeweils ein verflüssigtes Erdgas mit einer Zusammensetzung von ca. 0,75% Stickstoff und ca. 99,25% Methan in einem drucklosen Lagertank T1 angenommen. Bei einem Umgebungsdruck von ca. 1,05 bar wird ein Boil-Off-Gas erzeugt, das für die vorliegenden Verfahrensberechnungen eine Zusammensetzung von 15% Stickstoff und 85% Methan aufweist.

[0012] Die in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Kompressorsysteme K1 und K2 sind jeweils mehrstufige Kompressoren, die mit Zwischen- und Endkühlern ausgestattet sind; das komprimierte Gasgemisch wird durch diese Kühler jeweils auf 315°K abgekühlt. Es wird davon ausgegangen, dass ausreichend Kühlwasser oder -luft mit der entsprechenden Spezifikation (bspw. Meer-, Fluss- oder Kühlwasser und/oder Luft mit einer Temperatur von $\leq 310^{\circ}\text{K}$) zur Verfügung steht.

[0013] In den Fig. 1 bis 3 sind des Weiteren lediglich die Hauptprozessleitungen, die zum Verständnis der Erfindung erforderlich sind, dargestellt; nicht dargestellt sind die Anfahr- und Inbetriebnahmeleitungen, sowie Bypass-, Druckausgleichs- und weitere Nebenleitungen. Ebenso ist auf die Darstellung der erwähnten Zwischen- und Endkühler der Kompressorsysteme K1 und K2 verzichtet.

- [0014] Zu den Fig. 1 bis 3 sind in tabellenform Verfahrensdaten angegeben, die jeweils zu den in den Fig. 1 bis 3 dargestellten ("eingekastelten") Verfahrenspunkten 1 bis 16 (Fig. 1), 1 bis 18 (Fig. 2) und 1 bis 22 (Fig. 3) korrelieren.
- [0015] Bei der in der Fig. 1 dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches wird die niedriger siedende Fraktion als Kältekreislaufmittel verwendet.
- [0016] Das Boil-Off-Gas mit der vorgenannten Zusammensetzung von 15% Stickstoff und 85% Methan wird über Leitung 1 aus dem (Lager)Tank T1, in dem sich das Flüssigerdgas mit einer Zusammensetzung von ca. 0,75% Stickstoff und ca. 99,25% Methan befindet, der ersten Stufe des Kompressorsystems K1 zugeführt und in diesem auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 2 der nachfolgenden Tabelle 1 komprimiert.
- [0017] Anschließend wird das Boil-Off-Gas über Leitung 2 dem Wärmetauscher W1 zugeführt und in ihm auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 3 der Tabelle 1 abgekühlt und verflüssigt. Über Leitung 3 wird das verflüssigte Boil-Off-Gas dem Drosselventil V1 zugeführt, gedrosselt (Verfahrenspunkt 4 der Tabelle 1) und über Leitung 4 dem Abscheider A1 zugeführt.
- [0018] Am Kopf des Abscheiders A1 wird über Leitung 5 die gasförmige und niedriger siedende Fraktion – im Folgenden nur mehr ns-Fraktion genannt – abgezogen; diese weist 35% Stickstoff und 65% Methan auf. Am Sumpf des Abscheiders A1 wird über Leitung 16 die flüssige und höher siedende Fraktion – im Folgenden nur mehr hs-Fraktion genannt – abgezogen und dem Wärmetauscher W2 zugeführt. Im Wärmetauscher W2 wird diese Fraktion sodann auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 5 der Tabelle 1 unterkühlt.
- [0019] Die Unterkühlung der flüssigen hs-Fraktion im Wärmetauscher W2 geschieht durch eine Teilmenge der ns-Fraktion, die im Drosselventil V3 auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 8 der Tabelle 1 entspannt wird. Die so unterkühlte hs-Fraktion wird über Leitung 17 dem Mischer M1 zugeführt und in diesem mit dem Fluid der auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 6 der Tabelle 1 im Ventil V2 gedrosselten ns-Fraktion vermischt.
- [0020] Im stabilen Dauerbetrieb entspricht die ns-Fraktion, die dem Mischer M1 zugeführt wird, hinsichtlich ihrer Menge und Zusammensetzung exakt der gasförmigen ns-Fraktion, die am Kopf des Abscheiders A1 abgezogen wird. Somit entspricht die aus dem Mischer M1 über Leitung 18 abgezogene Flüssigfraktion hinsichtlich ihrer Menge und Zusammensetzung dem der 1. Stufe des Kompressorsystems K1 zugeführten Boil-Off-Gas.
- [0021] Druck und Temperatur der über Leitung 18 aus dem Mischer M1 abgezogenen Flüssigfraktion werden hierbei vorzugsweise derart eingestellt, dass während der Zuführung dieser Flüssigfraktion in den Tank T1 kein zusätzliches Boil-Off-Gas entsteht. Darüber hinaus soll erreicht werden, dass die in dem Tank T1 befindliche Flüssigkeit durch die über Leitung 18 zugeführte Flüssigfraktion unterkühlt wird, wobei eine Unterkühlung der Flüssigkeit nicht zwingend notwendig ist, sondern der Abkühlung der im Tank T1 befindlichen Flüssigkeit dienen soll.
- [0022] Anstelle der Vermischung bzw. Zusammenführung der ns- und der hs-Fraktion in dem in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Mischer M1, können die beiden Fraktionen auch über separate Leitungen getrennt dem (Speicher)Tank T1 zugeführt werden. In diesem Falle wird die verflüssigte hs-Fraktion vorzugsweise vor der Zuführung in den Tank T1 unterkühlt, um die Bildung von Boil-Off-Gas zu vermeiden.
- [0023] Die am Kopf des Abscheiders A1 über Leitung 5 abgezogene gasförmige ns-Fraktion wird zusammen mit dem im Ventil V3 entspannten Teilstrom der ns-Fraktion, der über Leitung 14 aus dem Wärmetauscher W2 abgezogen wird, dem Wärmetauscher W1 zugeführt. In diesem wird die vereinigte ns-Fraktion im Gegenstrom zu dem zu verflüssigenden Boil-Off-Gas sowie der zu verflüssigenden ns-Fraktion, die dem Wärmetauscher W1 über Leitung 7 zugeführt wird, angewärmt, bevor sie über Leitung 6 dem Kompressorsystem K2 zugeführt und in diesem auf den erforderlichen Druck und die erforderliche Temperatur für den Eintritt in den Wärmetauscher W1 (Verfahrenspunkt 12) komprimiert wird.
- [0024] Die komprimierte ns-Fraktion wird nunmehr im Wärmetauscher W1 abgekühlt und ein Teilstrom verflüssigt (Verfahrenspunkt 16), der anschließend über Leitung 12 aus dem Wärmetauscher W1 abgezogen wird. Von der komprimierten ns-Fraktion wird im Wärmetauscher W1 ein Seitenstrom (Verfahrenspunkt 13) über Leitung 8 abgezogen und in den Expansionsturbinen X1 und X2 zum Zwecke der zusätzlichen Kältegewinnung für die Abkühlung und Verflüssigung der beiden vorgenannten Verfahrensströme – dem Boil-Off-Gas aus dem Kompressorsystem K1 sowie der ns-Fraktion aus dem Kompressorsystem K2 – entspannt.
- [0025] Nach der Expansionsturbine X1 wird über Leitung 10 ein Teilstrom der in der Expansionsturbine X1 entspannten ns-Fraktion aus der die Expansionsturbinen X1 und X2 verbindenden Leitung 9 abgezogen, im Wärmetauscher W1 angewärmt und der oder einer höheren Kompressorstufe des Kompressorsystems K2 zugeführt. Der in der Expansionsturbine X2 entspannte Teilstrom der ns-Fraktion wird über Leitung 11 wieder der vereinigten ns-Fraktion in der Leitung 5 beigemischt.
- [0026] In den Fig. 1 bis 3 nicht dargestellt ist eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der die aus der Auftrennung des zu verflüssigenden Gasgemisches gewonnene niedriger siedende Fraktion – die am Kopf des Abscheiders A1 abgezogen wird – wiederum wenigstens in eine weitere niedriger siedende Fraktion und in eine weitere höher siedende Fraktion aufgetrennt wird und die so gewonnenen niedriger siedenden Fraktionen zu einer Kältekreislaufkaskade verschaltet werden.

Tabelle 1

Punkt	Fluidmenge	Druck	Temperatur
	[Nm ³ /h]	[bar]	[K]
1	5.000	1,05	315
2	5.000	50,2	315
3	5.000	50,2	120
4	5.000	1,5	105
5	4.200	1,5	90
6	800	1,5	86
7	5.000	1,4	94
8	1.750	1,5	86
9	2.550	1,4	102
10	5.750	1,1	310
11	55.000	9,9	310
12	60.750	50,2	315
13	58.200	50,1	200
14	55.000	10,0	137
15	3.200	1,5	103
16	2.550	50,0	120

- [0027] Bei der in der Fig. 2 dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches wird der zu verflüssigende Boil-Off-Gasstrom in einem Expanderkältekreislauf als Kältekreislaufmittel verwendet, während die ns-Fraktion als Kältekreislaufmittel in einem Kältekreislauf mit einer Drossel verwendet wird.
- [0028] Das aus dem Tank T1 über Leitung 1 abgeführte Boil-Off-Gas wird vor der Vermischung mit dem über Leitung 26 herangeführten Teilstrom des Boil-Off-Gases vor der ersten Stufe des Kompressorsystems K1 die in der Tabelle 2 unter Verfahrenspunkt 1 angeführten Eigenschaften auf. Das Boil-Off-Gas wird in dem Kompressorsystem K1 auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 3 der Tabelle 2 komprimiert, wobei es mit seinen über die Leitungen 25 und 26 herangeführten Teilstromen vermischt wird; diese Teilstrome weisen eine identische Zusammensetzung wie das Boil-Off-Gas auf.
- [0029] Das derart komprimierte Boil-Off-Gas wird im Wärmetauscher W1 abgekühlt und verflüssigt und anschließend über Leitung 27 und Drosselventil V1 dem Abscheider A1 zugeführt. Im Wärmetauscher W1 wird während der Abkühlung über Leitung 23 ein Seitenstrom abgezogen und in den Expansionsturbinen X1 und X2 zum Zwecke der zusätzlichen Kältegewinnung für die Abkühlung und Verflüssigung des Boil-Off-Gases sowie der noch zu beschreibenden ns-Fraktion aus dem Kompressorsystem K2 entspannt. Nach der Expansionsturbine X1 wird über Leitung 25 aus der die Expansionsturbinen X1 und X2 verbindenden Leitung 24 ein Teilstrom des Seitenstromes abgezogen, dem Wärmetauscher W1 zugeführt und in diesem angewärmt und anschließend – wie bereits erwähnt – der oder einer der höheren Kompressorstufen des Kompressorsystems K1 zugeführt.
- [0030] Am Kopf des Abscheiders A1 wird über Leitung 28 die gasförmige, niedriger siedende Fraktion (ns-Fraktion) abgezogen; diese weist 35% Stickstoff und 65% Methan auf. Am Sumpf des Abscheiders A1 wird über Leitung 35 die flüssige, höher siedende Fraktion (hs-Fraktion) abgezogen und dem Wärmetauscher W2 zugeführt. Im Wärmetauscher W2 wird diese Fraktion sodann auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 11 der Tabelle 2 unterkühlt.
- [0031] Die Unterkühlung der flüssigen hs-Fraktion im Wärmetauscher W2 geschieht durch eine Teilmenge der ns-Fraktion, die im Drosselventil V3 auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 14 der Tabelle 2 entspannt wird. Die so unterkühlte hs-Fraktion wird über Leitung 36 dem Mischer M1 zugeführt und in diesem mit dem Fluid der auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 12 der Tabelle 2 im Ventil V2 gedrosselten ns-Fraktion vermischt.
- [0032] Die über Leitung 28 aus dem Abscheider A1 abgezogene gasförmige ns-Fraktion wird zusammen mit dem im Ventil V3 entspannten Teilstrom der ns-Fraktion, der über Leitung 33 aus dem Wärmetauscher W2 abgezogen wird, dem Wärmetauscher W1 zugeführt. In diesem wird die vereinigte ns-Fraktion im Gegenstrom zu dem zu verflüssigenden Boil-Off-Gas sowie der zu verflüssigenden ns-Fraktion, die dem Wärmetauscher W2 über Leitung 30 zugeführt wird, angewärmt, bevor sie über Leitung 29 dem Kompressorsystem K2 zugeführt und in diesem auf den erforderlichen Druck und die erforderliche Temperatur für den Eintritt in den Wärmetauscher W1 (Verfahrenspunkt 17), dem sie über Leitung 30 zugeführt wird, komprimiert wird. Der Druck der komprimierten ns-Fraktion sollte hierbei mindestens so groß gewählt werden, dass ihre Verflüssigung in dem Wärmetauscher W1 gewährleistet ist.
- [0033] Die im Wärmetauscher W1 verflüssigte ns-Fraktion wird über Leitung 31 abgezogen, aufgeteilt und über die Leitungen 32 und 34 den Drosselventilen V2 bzw. V3 zugeführt. In der die Leitungen 31 und 33 verbindenden, den Wärmetauscher W2 umgehenden Bypass-Leitung 38 ist ein weiteres Drosselventil V4 vorgesehen. Mit diesem kann eventuell erforderliche zusätzliche Kälteleistung erzeugt und unmittelbar dem Wärmetauscher W1 zugeführt werden.
- [0034] Wiederum werden die Bedingungen für die am Ausgang des Mixers M1 anfallende Flüssigfraktion so eingestellt, dass während der Zuführung dieser Flüssigfraktion in den Tank T1 kein zusätzliches Boil-Off-Gas entsteht. Darüber hinaus sollte erreicht werden, dass die in dem Tank T1 befindliche Flüssigkeit durch die über Leitung 37 zugeführte Flüssigfraktion unterkühlt wird.

Tabelle 2

Punkt	Fluidmenge	Druck	Temperatur
	[Nm ³ /h]	[bar]	[K]
1	5.000	1,05	315
2	12.500	1,05	315
3	60.000	50,2	315
4	55.000	50,1	210
5	47.500	10,0	146
6	47.500	9,9	310
7	7.500	1,5	115
8	7.500	1,1	315
9	5.000	50,0	120
10	5.000	1,5	105
11	4.200	1,5	90
12	800	1,5	86
13	5.000	1,4	94
14	1.050	1,5	86
15	1.850	1,4	102
16	1.850	1,1	310
17	1.850	50,2	315
18	1.850	50,0	120

[0035] Bei der in der Fig. 3 dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches werden sowohl der zu verflüssigende Boil-Off-Gasstrom als auch die niedriger siedende Fraktion in einem Expanderkältekreislauf als Kältekreislaufmittel verwendet.

[0036] Das aus dem Tank T1 über Leitung 41 abgeführte Boil-Off-Gas wird vor der ersten Stufe des Kompressorsystems K1 auf die Bedingungen gemäß Verfahrenspunkt 2 der Tabelle 2 komprimiert, wobei es mit dem über Leitung 44 herangeführten Teilstrom vermischt wird; dieser Teilstrom weist eine identische Zusammensetzung wie das Boil-Off-Gas auf.

[0037] Nach dem Kompressorsystem K1 wird das komprimierte Boil-Off-Gas in zwei Teilströme aufgeteilt. Der erste Teilstrom des Boil-Off-Gases wird über Leitung 42 dem Wärmetauscher W1 zugeführt, während der zweite Teilstrom des Boil-Off-Gases über Leitung 46 dem Wärmetauscher W3 zugeführt wird. Diese nicht zwingende Aufteilung des Boil-Off-Gasstromes macht insbesondere dann Sinn, wenn als Wärmetauscher sog. Kreisringflächenwärmetauscher zur Anwendung kommen. Diese Wärmetauscher haben den Vorteil, dass sie auch bei tiefsten Temperaturen einer Außenisolierung nicht bedürfen. Sofern jedoch herkömmliche Wärmetauscher zum Einsatz kommen, erübrigt sich die in der Fig. 3 dargestellte Aufteilung des komprimierten Boil-Off-Gasstromes.

[0038] Der über Leitung 42 dem Wärmetauscher W1 zugeführte Teilstrom des Boil-Off-Gases wird in dem Wärmetauscher W1 abgekühlt und teilweise verflüssigt (Verfahrenspunkt 6 der Tabelle 3). Über Leitung 43 wird ein Seitenstrom des zu verflüssigenden Boil-Off-Gasstromes abgezogen, in der Expansionsturbine X1 zum Zwecke der Kältegewinnung für die Abkühlung und teilweise Verflüssigung des Boil-Off-Gases entspannt und anschließend – wie bereits erwähnt – über Leitung 44 wieder der oder einer höheren Kompressorstufe des Kompressorsystems K1 zugeführt.

[0039] Der über Leitung 46 dem Wärmetauscher W3 zugeführte weitere Teilstrom des komprimierten Boil-Off-Gasstromes wird in dem Wärmetauscher W3 abgekühlt und – nach der Zuspiesung des im Wärmetauscher W1 teilweise verflüssigten Boil-Off-Gasstromes über Leitung 45 – vollständig verflüssigt. Anschließend wird der gesamte Boil-Off-Gasstrom über Leitung 47 und Drosselventil V1 in den Abscheider A1 geführt bzw. entspannt.

[0040] Am Kopf des Abscheiders A1 wird über Leitung 48 die gasförmige, niedriger siedende Fraktion abgezogen, während aus dem Sumpf des Abscheiders A1 über Leitung 60 die flüssige, höher siedende Fraktion abgezogen und dem Wärmetauscher W4 zugeführt wird. Im Wärmetauscher W4 wird die flüssige hs-Fraktion auf die Bedingung gemäß Verfahrenspunkt 10 der Tabelle 3 unterkühlt. Wie bereits bei den in den Fig. 1 und 2 dargestellten Verfahren erfolgt die Unter-55

terkühlung der flüssigen hs-Fraktion im Wärmetauscher mit einem Teilstrom der ns-Fraktion, die im Drosselventil V3 auf die Bedingungen gemäß des Verfahrenspunktes 13 der Tabelle 3 entspannt wird.

[0041] Die derart unterkühlte hs-Fraktion wird über Leitung 61 aus dem Wärmetauscher W4 abgezogen und dem Mischer M1 zugeführt. In diesem wird sie mit dem in dem Ventil V2 gedrosselten Teilstrom der ns-Fraktion vermischt. Im stabilen Dauerbetrieb entspricht diese ns-Fraktion hinsichtlich ihrer Menge und Zusammensetzung exakt der ns-Fraktion, die aus dem Abscheider A1 über Leitung 48 abgezogen wird. Die Menge und die Zusammensetzung des über Leitung 62 aus dem Mischer M1 abgezogenen Flüssigstromes entspricht somit im stabilen Dauerbetrieb der Menge und der Zusammensetzung des am Eingang der ersten Stufe des Kompressorsystems K1 vorliegenden Boil-Off-Gasstromes. Die Bedingungen für die im Ausgang des Mischers M1 anfallende Flüssigfraktion werden wiederum so eingestellt, dass während der Zuführung dieser Flüssigfraktion über Leitung 62 in den Tank T1 kein zusätzliches Boil-Off-Gas gebildet wird.

[0042] Die am Kopf des Abscheiders A1 über Leitung 48 abgezogene gasförmige, ns-Fraktion wird mit dem über Leitung 58 aus dem Wärmetauscher W4 abgeführten Teilstrom der im Drosselventil V3 entspannten ns-Fraktion sowie ei-

nem weiteren Teilstrom der ns-Fraktion, auf den im Folgenden noch näher eingegangen werden wird, vermischt und dem Wärmetauscher W3 zugeführt. In diesem wird die ns-Fraktion im Gegenstrom zu dem zu verflüssigenden Boil-Off-Gasstrom erwärmt und anschließend über Leitung 49 dem Kompressorsystem K2 zugeführt. In diesem wird die ns-Fraktion auf den erforderlichen Druck sowie die erforderliche Temperatur für den Eintritt in den Wärmetauscher W2 (Verfahrenspunkt 16 der Tabelle 3) komprimiert.

[0043] Im Wärmetauscher W2 wird die derart komprimierte ns-Fraktion abgekühlt, teilweise verflüssigt und anschließend über Leitung 55 aus dem Wärmetauscher W2 abgezogen und als Seitenstrom dem Wärmetauscher W3 zugeführt und in ihm vollständig verflüssigt (Verfahrenspunkt 22 der Tabelle 3). Die vollständig verflüssigte ns-Fraktion wird anschließend über Leitung 56 dem Verzweigungspunkt zugeführt, in dem sie auf die Leitungen 57 und 59 aufgeteilt und den Drosseilventilen V3 bzw. V2 zugeführt wird.

[0044] Von der dem Wärmetauscher W2 über Leitung 50 zugeführten ns-Fraktion wird über Leitung 51 ein Seitenstrom abgezogen und in den Expansionsturbinen X2 und X3 zum Zwecke der zusätzlichen Kältegewinnung entspannt. Nach der Entspannungsturbine X2 wird ein Teilstrom der entspannten ns-Fraktion aus der Verbindungsleitung 53 über Leitung 52 abgezogen, im Wärmetauscher W2 angewärmt und der oder einer höheren Stufe des Kompressorsystemes K2 zugeführt. Der restliche Teilstrom des über Leitung 51 abgezogenen Seitenstromes der ns-Fraktion, der in der Entspannungsturbine X3 entspannt wird, wird – wie bereits erwähnt – über Leitung 54 der am Kopf des Abscheiders A1 über Leitung 48 abgezogenen ns-Fraktion zugemischt.

Tabelle 3

Punkt	Fluidmenge	Druck	Temperatur
	[Nm ³ /h]	[bar]	[K]
1	5.000	1,05	315
2	31.200	50,20	315
3	31.200	50,1	210
4	31.200	10,0	146
5	31.200	9,9	310
6	3.200	50,1	155
7	1.800	50,2	315
8	5.000	50,0	120
9	5.000	1,5	105
10	4.200	1,5	90
11	800	1,5	86
12	5.000	1,4	94
13	1.720	1,5	86
14	5.680	1,4	103
15	5.680	1,1	310
16	33.680	50,2	315
17	31.160	50,1	200
18	28.000	10,0	138
19	28.000	9,9	310
20	3.160	1,5	104
21	2.520	50,1	145
22	2.520	50,0	120

[0045] Von besonderem Vorteil bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist, dass gleichdimensionierte und damit austauschbare Kompressoren bei den Verflüssigungsverfahrensschritten sowie in den Kältekreisläufen zum Einsatz kommen können; bei Bereitstellung nur eines Reservekompressors ist damit eine nahezu 100%ige Ausfallsicherheit gegeben. Zudem sind damit eine erheblich kleinere Lagerhaltung und ein geringerer Platzbedarf verbunden, was insbesondere auf den vorgenannten Flüssiggas-Tankschiffen einen nicht unbedeutenden Vorteil darstellt.

[0046] Im Gegensatz zu dem erfindungsgemäßen Verfahren ist bei der Verwendung von separaten Kältekreislaufmitteln der Kompressor im Kältekreislauf um ein vielfaches – im Regelfall um das Zehnfache – größer als der Kompressor im Verflüssigungsverfahrensschritt. Dies bedeutet eine Verdoppelung der Lagerhaltung für die beiden unterschiedlichen Maschinen bei einer deutlich geringeren Ausfallsicherheit.

[0047] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich darüber hinaus durch einfache Verfahrensschritte sowie durch die autarke Verflüssigungsmöglichkeit aus, so dass diese Verfahrensführung in vorteilhafter Weise in einer modularisierten Anlage, wie sie bspw. als mobile Erdgasverflüssigungsanlage auf kleinen Erdgasfeldern, bei denen sich die Investitionen für eine Pipeline oder ein E-Werk nicht lohnen, eingesetzt werden kann, realisiert werden wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verflüssigen eines wenigstens zweikomponentigen Gasgemisches, wobei
 - a) das zu verflüssigende Gasgemisch in eine niedriger siedende Fraktion, die eine Siedetemperatur aufweist, die niedriger ist als die Siedetemperatur des zu verflüssigenden Gasgemisches, und in eine höher siedende

- Fraktion, die, bei jeweils gleichem Druck, eine Siedetemperatur aufweist, die höher ist als die Siedetemperatur des zu verflüssigenden Gasgemisches, aufgetrennt wird,
- b) die höher siedende Fraktion zumindest soweit abgekühlt wird, dass sie vorzugsweise bei dem Druck, unter dem am Ende des Verflüssigungsverfahrens das verflüssigte Gasgemisch vorliegt, in vorzugsweise flüssiger Phase vorliegt,
- c) die niedriger siedende Fraktion soweit abgekühlt wird, dass sie nach einer Zusammenführung mit der höher siedenden Fraktion in vollständig verflüssigter Phase vorliegt,
- d) als Kältemittel für den oder die Kältemittelkreisläufe entweder zumindest ein Teilstrom der niedriger siedenden Fraktion oder, sofern wenigstens zwei Kältemittelkreisläufe vorgesehen werden, zumindest ein Teilstrom der niedriger siedenden Fraktion und zumindest ein Teilstrom des zu verflüssigenden Gasgemisches verwendet werden, und
- e) die vorzugsweise verflüssigte, höher siedende Fraktion und die vorzugsweise verflüssigte, niedriger siedende Fraktion anschließend zusammengeführt werden und die zusammengeführten Fraktionen verflüssigt vorliegen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Auftrennung des zu verflüssigenden Gasgemisches in eine niedriger siedende Fraktion und in eine höher siedende Fraktion mittels eines beliebigen Trenn- oder Fraktionierungsverfahrens, vorzugsweise mittels einer Drosselung, eines permeativen und/oder rektifikatorischen Verfahrens, erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Verfahrensschritt e) vor der Zuführung in einen (Speicher)Tank oder erst in dem (Speicher)Tank realisiert wird, wobei im Falle der Zusammenführung der Fraktionen erst in dem (Speicher)Tank die vorzugsweise verflüssigte höher siedende Fraktion vorzugsweise dem (Speicher)Tank in unterkühltem Zustand zugeführt wird und die niedriger siedende sowie die höher siedende Fraktion soweit abgekühlt zugeführt werden, dass bei der Zusammenführung dieser Fraktionen kein Boil-off-Gas gebildet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der für die Zusammenführung vorgesehene Teilstrom der niedriger siedenden Fraktion auf einen so hohen Druck komprimiert und anschließend auf eine so tiefe Temperatur abgekühlt, vorzugsweise verflüssigt wird, dass bei der Zusammenführung der niedriger siedenden Fraktion mit der höher siedenden Fraktion die entstehende Mischfraktion in flüssiger Phase vorliegt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die vorzugsweise verflüssigte höher siedende Fraktion vor der Zusammenführung mit der niedriger siedenden Fraktion oder vor der Zuführung in den (Speicher)Tank unterkühlt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterkühlung der vorzugsweise verflüssigten höher siedenden Fraktion im Wärmeaustausch mit zumindest einem Teilstrom der niedriger siedenden Fraktion erfolgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die vorzugsweise verflüssigte niedriger siedende Fraktion vor der Vermischung mit der höher siedenden Fraktion oder vor der Zuführung in den (Speicher)Tank unterkühlt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die vorzugsweise verflüssigte niedriger siedende Fraktion und/oder die vorzugsweise verflüssigte höher siedende Fraktion zumindest soweit unterkühlt werden, dass bei dem Vermischen dieser Fraktionen kein Ausgasen erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die aus der Auftrennung des zu verflüssigenden Gasgemisches gewonnene niedriger siedende Fraktion wiederum wenigstens in eine weitere niedriger siedende Fraktion und in eine weitere höher siedende Fraktion aufgetrennt wird und zumindest ein Teil der gewonnenen Fraktionen zu einer Kältekreislaufkaskade verschaltet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Gasgemisch eine zusätzliche Kältekreislaufkaskadenstufe gebildet wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

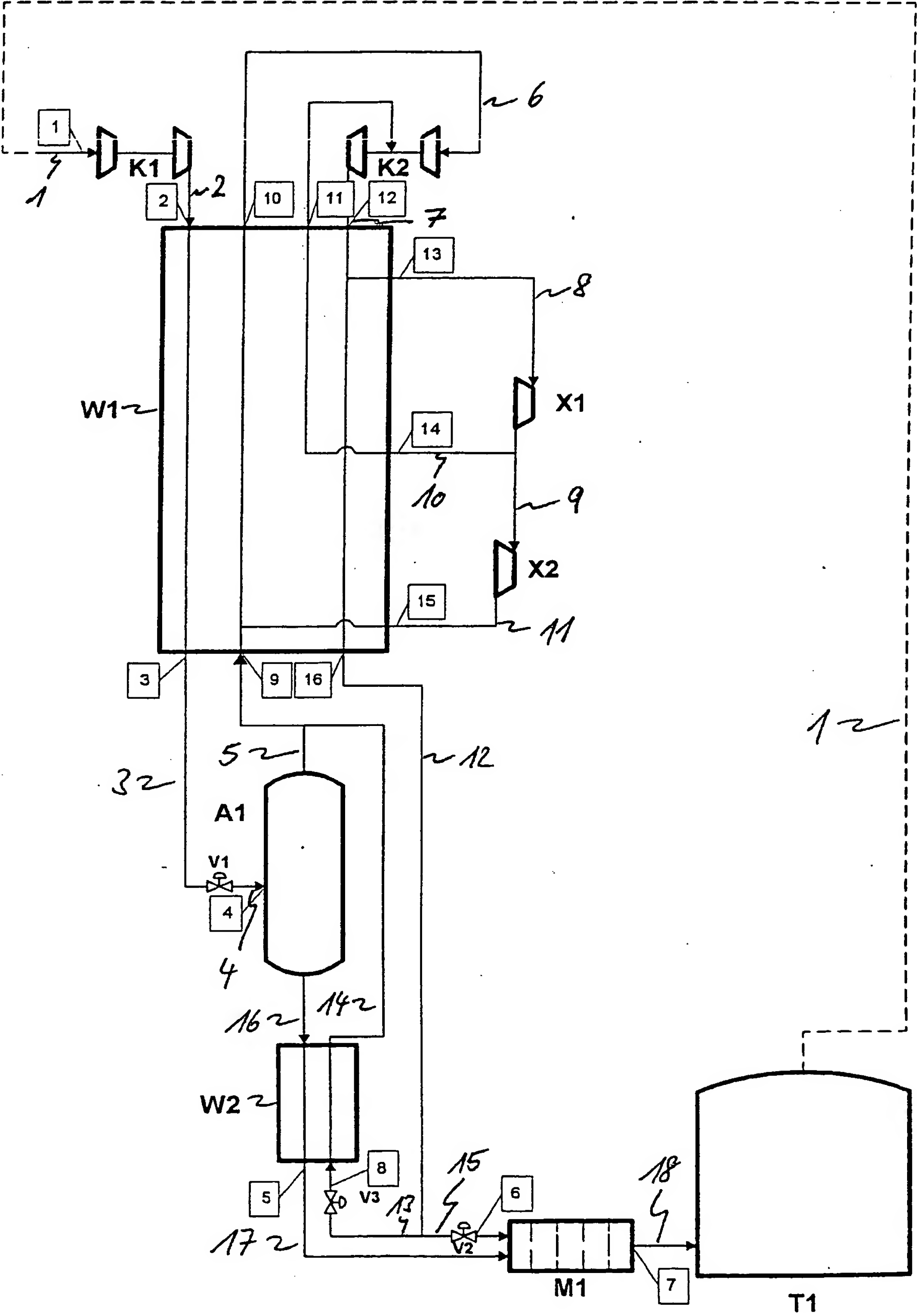


Fig. 1

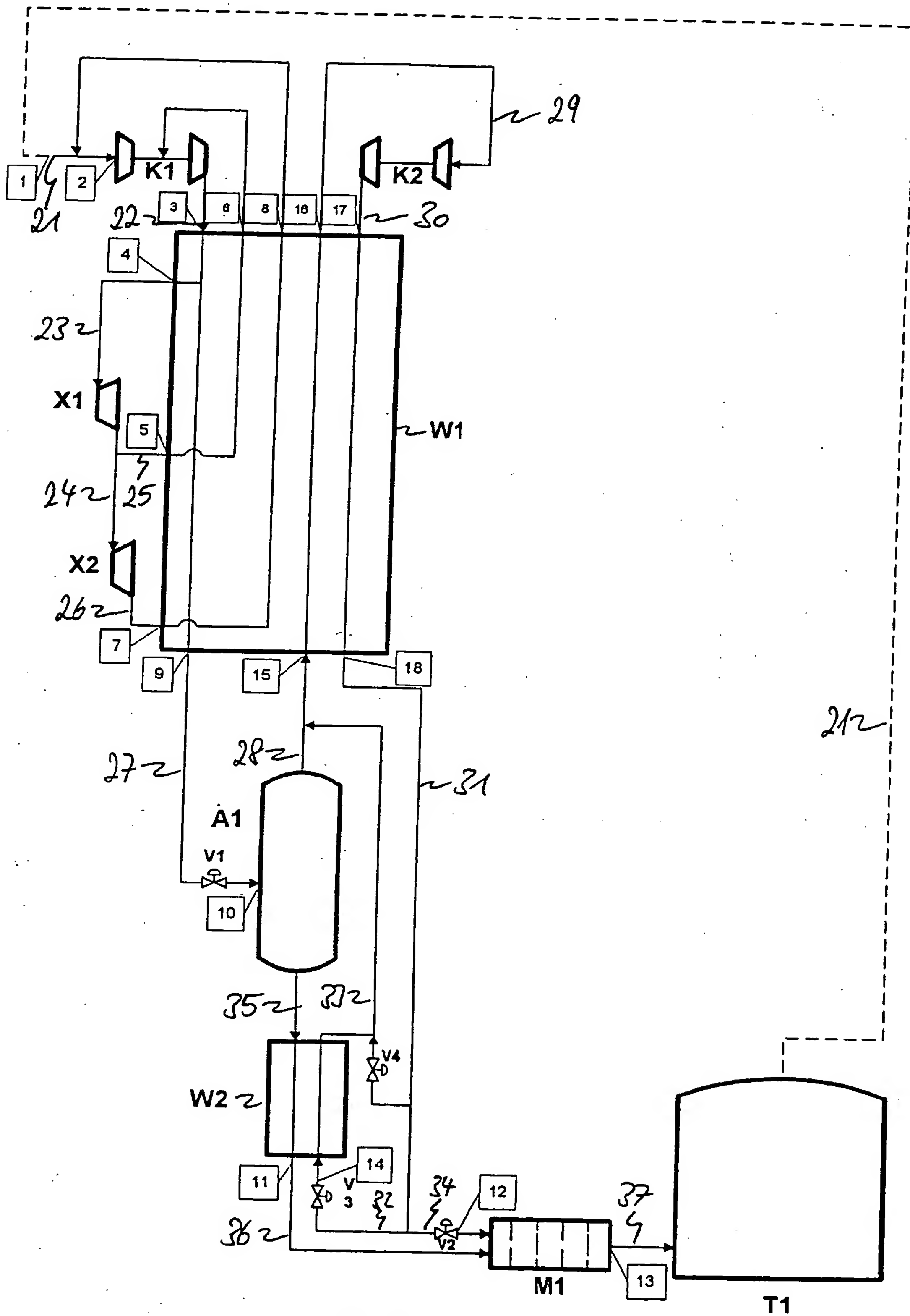


Fig. 2

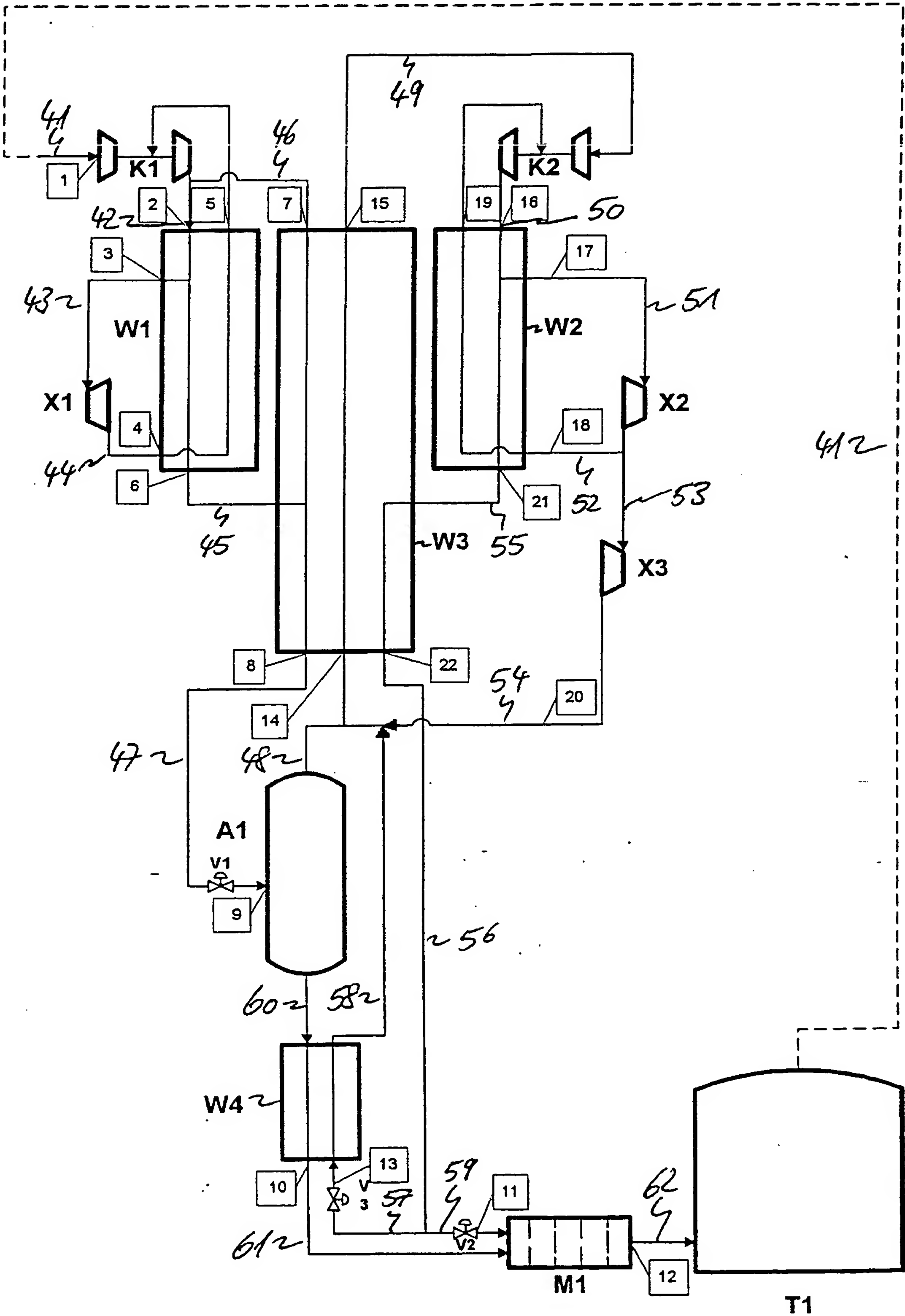


Fig. 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)